

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
18. Juli 2002 (18.07.2002)

PCT

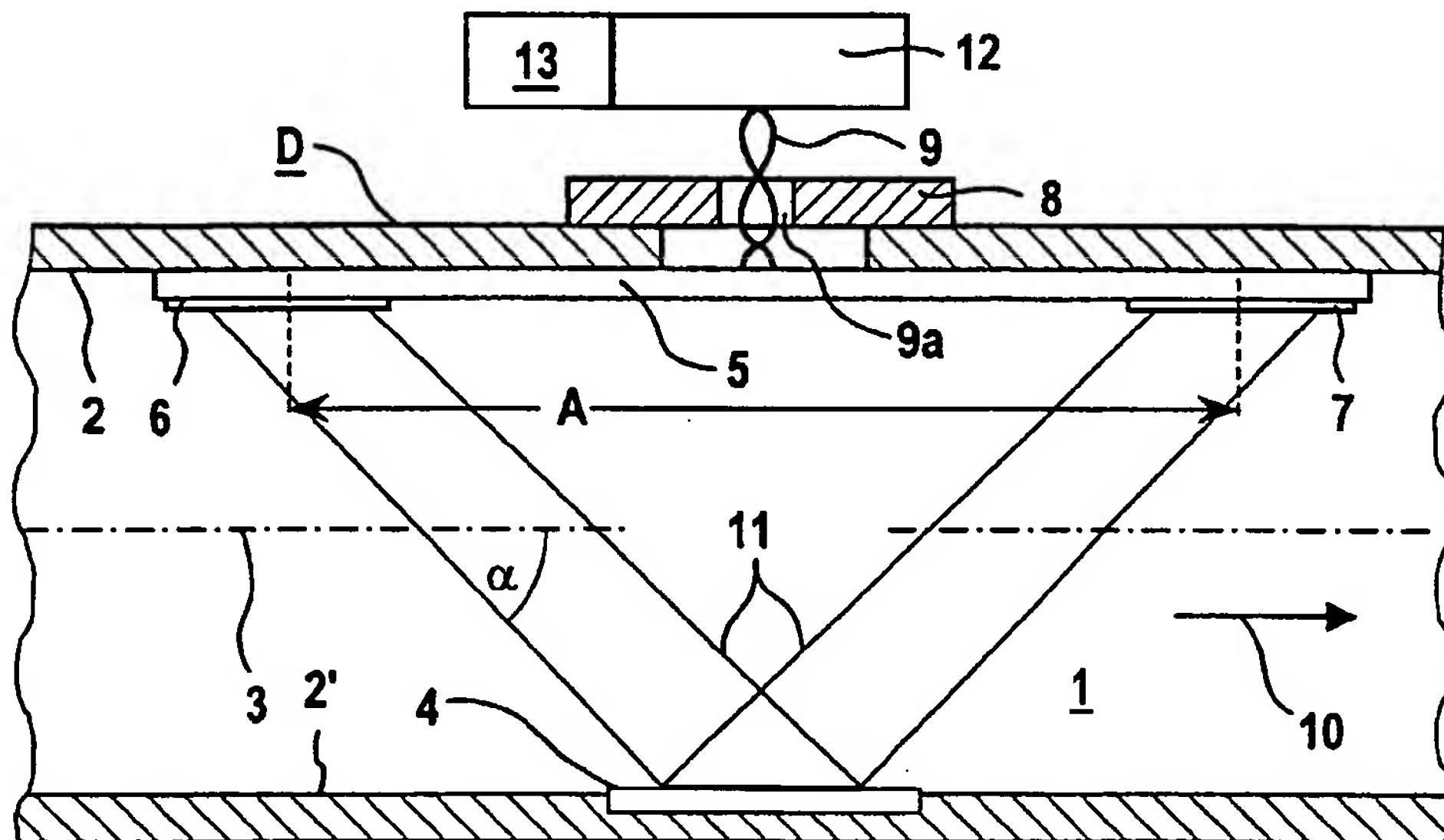
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/055966 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G01F 1/00** (72) Erfinder; und  
(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE01/04950** (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **STARK, Rein-**  
(22) Internationales Anmeldedatum: **28. Dezember 2001 (28.12.2001)** **hard [DE/DE]; Isoldenstr. 6, 90461 Nürnberg (DE).**  
**REISSINGER, Achim [DE/DE]; Waldheimweg 21,**  
**91522 Ansbach (DE).**
- (25) Einreichungssprache: **Deutsch** (74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGE-**  
(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch** **SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München**  
**(DE).**
- (30) Angaben zur Priorität: **101 00 612.8** **9. Januar 2001 (09.01.2001)** **DE** (81) Bestimmungsstaaten (national): **CN, JP, US.**
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von (84) Bestimmungsstaaten (regional): **europäisches Patent (AT,**  
**US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];** **BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,**  
**Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).** **NL, PT, SE, TR).**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: FLOW METER

(54) Bezeichnung: DURCHFLUSSMESSER



(57) Abstract: The invention relates to a flow meter comprising a measuring tube (1), through which a liquid or gaseous medium flows, and comprising at least two ultrasonic transducers (6; 7), which are placed in contact with the medium and which are connected to a generator and receive circuit (12). The ultrasonic transducer (6; 7) is comprised of a flat piezo element provided with two electrically separated electrodes of an interdigital transducer, which define an excellent direction and which intermesh in a comb-like manner. The electrodes are placed on only one of the two surfaces of the piezo element. A transducer support is provided in the form of a film, thus being flexible. This transducer support can, at the same time, also serve as the piezo element.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/055966 A2

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten CN, JP, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

**Veröffentlicht:**

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

---

**(57) Zusammenfassung:** Ein Durchflussmesser umfasst ein von einem flüssigen oder gasförmigen Medium durchströmtes Messrohr (1), wenigstens zwei im Kontakt mit dem Medium angeordneten und mit einer Generator- und Empfangsschaltung (12) verbundenen Ultraschallwandlern (6; 7). Der Ultraschallwandler (6; 7) besteht aus einem flächigen Piezoelement mit zwei eine ausgezeichnete Richtung bestimmenden, kammartig ineinandergreifenden, elektrisch getrennten Elektroden eines Interdigitalwandlers. Die Elektroden sind nur auf einer der beiden Flächen des Piezoelements angeordnet. Ein Wandlerträger ist flexibel nach Art einer Folie ausgebildet. Dieser kann gleichzeitig auch als Piezoelement dienen.

## Beschreibung

### Durchflussmesser

Die Erfindung bezieht sich auf einen Durchflussmesser für ein flüssiges oder gasförmiges Medium gemäss der im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Art sowie auf einen hierfür geeigneten Ultraschallwandler.

Solche Durchflussmesser werden zum Messen von Strömungsgeschwindigkeiten mittels Ultraschall von in Rohrleitungen strömenden Medien eingesetzt und ermöglichen Bezugsmengen des Mediums zu erfassen.

Die DE 30 20 282 A1 beschreibt einen Ultraschall-Durchflussmesser mit einem von einem Medium durchströmten Messrohr und mit Interdigitalwandlern als Ultraschallerzeuger. Die Interdigitalwandler sind flächige Stücke aus einem keramischen Piezomaterial, das auf der einen Seite zwei mit einer Wechselspannung beaufschlagten Elektroden mit einer Interdigitalstruktur aufweisen. Bei dieser Struktur greifen die Elektroden kammartig ineinander, ohne sich jedoch zu berühren. Die andere, dem Medium zugewandte Seite ist mit einer vollflächigen Masse-Elektrode belegt.

Beim Anlegen von zwei gegeneinander um  $180^\circ$  phasenverschobenen Wechselspannungen gleicher Frequenz  $f$  zwischen den beiden Elektroden einerseits und der Masse-Elektrode andererseits werden durch die Interdigitalstruktur bedeckten Zonen des Piezomaterials so zu Dickenschwingungen angeregt, dass durch die Masse-Elektrode hindurch Ultraschallwellen unter einem Winkel zur Senkrechten auf die Masse-Elektrode abgestrahlt werden. Der Abstrahlwinkel hängt von der Frequenz  $f$  der Wechselspannungen und der Periodizität der Interdigitalstruktur ab.

Die GB 2'167'857 A schlägt ganz allgemein die Verwendung von PVDF als Piezomaterial für Ultraschallerzeuger bei Durchflussmessern vor.

Die DE 36 33 306 C2 zeigt einen Ultraschallerzeuger, der eine Kombination zweier sandwichartig übereinander gelegten Interdigitalwandler ist. Der eine Interdigitalwandler wirkt als Sender für Ultraschallwellen und weist als Piezomaterial eine Keramik auf wie der aus der DE 30 20 282 A1 bekannte Interdigitalwandler, der andere Interdigitalwandler dient als Empfänger und weist eine Platte aus PVDF statt aus Piezokeramik auf.

Die Elektroden des Senders und Hilfselektroden des Empfängers weisen identische Strukturen und Abmessungen auf und sind aufeinander exakt ausgerichtet, wobei die beiden Interdigitalwandler sandwichartig so übereinander gelegt sind, dass die Seite des Senders mit der Masse-Elektrode den Hilfselektroden des Interdigitalwandlers aus PVDF zugewandt ist. Die Masse-Elektrode des Interdigitalwandlers aus PVDF ist in Kontakt mit dem Medium, d.h. die Abstrahlung bzw. der Empfang der Ultraschallwellen erfolgt durch die Masseelektrode des Interdigitalwandlers aus PVDF hindurch. Von den Hilfselektroden kann beim Empfang von Ultraschallwellen ein elektrisches Signal abgenommen werden.

Verschiedene Konstruktionen von Ultraschall-Durchflussmessern sind bekannt. Sie unterscheiden sich im wesentlichen in der Laufrichtung der Ultraschallwellen auf der Messstrecke. Neben einer Durchschallung parallel zur Messrohrachse (DE 29 24 561 C2) und einer schiefen Durchschallung (GB 2 167 857 A), sind insbesondere auch Schallwege in V-Form oder W-Form (DE 39 41 544 A1) oder schraubenförmige Schallwege infolge Mehrfachreflexionen bekannt (DE 43 36 370 C1).

Aus Römpps Chemie-Lexikon (ISBN 3-440-04515-3), Seite 3325 geht hervor, dass die gegen viele Chemikalien beständigen Po-

lyvinylfluorid (PVF) und Polyvinylidenfluorid (PVDF) in Form von gereckten Folien technisch nutzbare Piezoeigenschaften aufweisen.

Die Ultraschallgeber müssen gegen das Medium dicht in einem Gehäuse eingeschlossen werden und sind daher sehr teuer. Auch ist die Konstruktion des Durchflussmessers gemäss dem Stand der Technik sehr aufwendig. Dies beschränkt den Anwendungsbereich der Ultraschall - Durchflussmesser im wesentlichen auf den Fernwärmebereich, obwohl der Vorteil, dass der Durchflussmesser keine bewegten Teile aufweist, beispielsweise bei einem Einsatz dieser Technik zum Messen von Kalt- und Warmwassermengen offensichtlich ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen kostengünstigen Durchflussmesser mit vereinfachten Ultraschallwandlern und einen hierzu geeigneten Ultraschallwandler zu schaffen.

Die Lösung der Aufgabe gelingt erfindungsgemäss mit den Merkmalen des Anspruchs 1, bzw. 14 oder 15. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Diese Lösungen ermöglichen einen entscheidenden Schritt zur Ablösung der kostengünstigen, weitverbreiteten Flügelradzähler.

Grundgedanke der Erfindung ist es, einen in das Messrohr einbringbaren Ultraschallwandler flexibel auszugestalten, wodurch nahezu keine mechanische Bearbeitung des Messrohres für die Anbringung der Ultraschallwandler erforderlich ist.

In einer einfachen Ausführungsform umfasst ein Ultraschallwandler nur ein flexibles Material mit Piezoeigenschaften, das mit einer Interdigitalstruktur versehen im Messrohr befestigbar ist. Als Material kommt bevorzugt eine Folie aus PVF oder PVDF zur Anwendung. Die Folie bildet dabei einen Korrosionsschutz für die Elektroden und eignet sich insbesondere

für Anwendungen mit einer Mediumtemperatur von etwa  $< 40^{\circ}$ . Die sonst üblichen Gegenelektroden sind nicht erforderlich.

Ein derartiger Ultraschallwandler lässt sich nahezu in allen Messrohrformen einfach einbringen. Dies liegt auch wesentlich in seiner geringen Bauhöhe, die den Fluss des Mediums im Messrohr nahezu nicht behindert. Seine Herstellung ist verblüffend einfach und eignet sich für automatisierte Serienproduktionen, wodurch eine besonders preiswerte und wirtschaftliche Herstellung möglich ist.

Weitere Vorteile und Details sind in der nachfolgenden Beschreibung angegeben. Der erfindungsgemäße Durchflussmesser und Ultraschallwandler eignen sich prinzipiell für alle gasförmigen oder flüssigen Medien.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen

FIG 1 einen Durchflussmesser im Längsschnitt,  
FIG 2 einen Interdigitalwandler in der Draufsicht,  
FIG 3 den Interdigitalwandler im Querschnitt,  
FIG 4 eine Anordnung zweier Interdigitalwandler,  
FIG 5 den Durchflussmesser im Querschnitt,  
FIG 6 den rohrförmigen Durchflussmesser im Querschnitt,  
FIG 7 eine schräge Anordnung des Interdigitalwandlers und  
FIG 8 eine paarweise Anordnung der Interdigitalwandler.

In der FIG 1 bedeuten 1 ein Messrohr, 2, 2' Innenflächen des Messrohrs 1, 3 eine Messrohrachse, 4 einen Spiegel für Ultraschall, 5 einen Wandlerträger, 6 und 7 Ultraschallwandler, 8 eine Durchführung, 9 ein mehrpoliges Kabel 9a einer Bohrung und 10 eine Strömungsrichtung eines Mediums.

Die Messanordnung im Durchflussmesser D ist am Beispiel eines Schallweges 11 in V-Form gezeigt. Die beiden Ultraschallwandler 6 und 7 sind in einem vorbestimmten Abstand A auf dem



Wandlerträger 5 auf der Innenfläche 2 des Messrohrs 1 in der Strömungsrichtung 10 eines Mediums hintereinander angeordnet.

In einer Ausführung ist der Wandlerträger 5 auf der Wandlerseite plan und schmiegt sich mit der andern Seite an die Innenfläche 2 des Messrohrs 1 an. Eine Generator- und Empfangsschaltung 12 ist mit den Ultraschallwandlern 6, 7 über das Kabel 9 verbunden, das durch die gegen das Medium abgedichtete Durchführung 8 geführt ist. Die Generatorschaltung 12 erzeugt phasenverschobene Wechselspannungen einer vorbestimmten Frequenz  $f$  für den Betrieb der Ultraschallwandler 6, 7. Ggf. kann statt dem Kabel 9 auch eine mit Leiterbahnen versehene Folie verwendet werden.

Der erste Ultraschallwandler 6 sendet beispielsweise längs des Schallwegs 11 Ultraschallwellen unter einem Abstrahlwinkel  $\alpha$  zur Messrohrachse 3 aus, welche an einer Spiegelfläche bzw. am Spiegel 4 auf der gegenüberliegenden Innenfläche 2' zum zweiten Ultraschallwandler 7 hin reflektiert werden. Die Ultraschallwellen erzeugen im zweiten Ultraschallwandler 7 gegeneinander phasenverschobene elektrische Empfangssignale, die über das Kabel 9 zur Empfangsschaltung 12 geleitet werden. Für die folgende Messung vertauschen die beiden Ultraschallwandler 6, 7 die Funktionen Senden und Empfangen.

In einer anderen Ausführung senden beide Ultraschallwandler 6, 7 gleichzeitig und warten anschliessend auf den Empfang der vom anderen Ultraschallwandler ausgesandten Schallwellen. Die Generator- und Empfangsschaltung 12 errechnet aus den Empfangssignalen die Strömungsgeschwindigkeit und den Durchfluss des längs der Messrohrachse 3 strömenden Mediums, beispielsweise Kalt- oder Warmwasser usw., und gibt an ein Zählwerk 13 Impulse ab, die einer bestimmten Bezugsmenge proportional sind.

Als Wandlerträger 5 kann beispielsweise eine Folie dienen, auf der jeweils für sich funktionsfähige und gegen das Medium

isolierte Ultraschallwandler 6,7 angeordnet sind. Der Wandlerträger 5 kann jedoch auch von einer PVF- oder PVDF-Folie gebildet sein, so dass die Ultraschallwandlerfunktion von einer Interdigitalstruktur erfüllt werden kann.

Die FIG 2 zeigt beispielhaft ein Piezoelement 14 der Ultraschallwandler 6 (FIG 1), 7 (FIG 1) zur allgemeinen Erläuterung ihrer Funktion. Das Piezoelement 14 ist ein Substrat aus einem Piezomaterial mit einer zur Dicke parallelen Polarisation und trägt auf einer Oberfläche zwei parallele Elektroden 15, 16, deren benachbarte Berandungen als kammartig ineinandergreifende Finger 17 einer Interdigitalstruktur 15, 16, 17 ausgebildet sind. Die Finger 17 jeder Elektrode 15, 16 sind gleichmässig voneinander beabstandet, wobei benachbarte Finger 17 derselben Elektrode 15 bzw. 16 eine Distanz  $d$  aufweisen. Ein mäanderförmiges Band frei von Elektrodenmaterial trennt die beiden Elektroden 15, 16, 17.

Die Ultraschallwellen werden parallel zu einer auf der Oberfläche des Piezoelements 14 senkrechten Ebene  $E$  abgestrahlt, deren gestrichelt gezeichnete Schnittlinie die Finger 17 halbiert. Der Schallweg  $l$  ist um den Abstrahlwinkel  $\alpha$  zum Lot 18, einer Senkrechten auf die Oberfläche des Piezoelements 14, geneigt. Die Wellenlänge  $\lambda$  des Ultraschalls im Medium und die Distanz  $d$  bestimmen den Abstrahlwinkel  $\alpha$  nach der Formel  $\cos \alpha = \lambda / d$ .

Für die Betriebsbedingungen und weitere Interdigitalstrukturen 15, 16, 17 ist hier auf die Beschreibung der eingangs erwähnten DE 30 20 282 (Seite 8, Zeile 11 bis Seite 10, Zeile 4 und Seite 12, Zeilen 9 bis 33) verwiesen. Für den Abstrahlwinkel  $\alpha = 45^\circ$  und der Wellenlänge  $\lambda \approx 1,45$  mm in Kaltwasser bei einer Frequenz  $f \approx 1$  MHz beträgt die Distanz  $d \approx 2,05$  mm.

Beim Anlegen der beiden gegeneinander um  $180^\circ$  phasenverschobenen Wechselspannungen gleicher Frequenz  $f$  zwischen den bei-



den Elektroden 15, 16 einerseits und dem Messrohr 1 andererseits werden die durch die Interdigitalstruktur bedeckten Zonen des Piezoelements 14 so zu Dickenschwingungen angeregt, dass die freie Oberfläche des Piezoelements 14 die Ultraschallwellen unter dem Abstrahlwinkel  $\alpha$  ins Medium abstrahlt.

Im Gegensatz zu den im Stand der Technik beschriebenen Interdigitalwandlern weist das Piezoelement 14 keine Gegenelektrode auf der von der Interdigitalstruktur 15, 16, 17 abgewandten Seite auf. In Versuchen wurde nämlich festgestellt, dass bei der Verwendung von dünnen Folien als Piezoelement keine Gegenelektrode erforderlich ist.

In der FIG 3 ist ein Querschnitt durch einen Ultraschallwandler dargestellt. Diese Darstellung gilt prinzipiell für beide Ultraschallwandler 6 und 7. Der Ultraschallwandler 6 bzw. 7 umfasst wenigstens das Piezoelement 14, die Elektroden 15, 16 (FIG2) mit den Fingern 17 und eine Deckschicht 19, die als Wandlerträger dienen kann. Die Deckschicht 19 überzieht die Oberfläche des Piezoelements 14 mit der Interdigitalstruktur 15, 16, 17 und schirmt das Material der Elektroden 15, 16, 17 gegen den Einfluss des Mediums, insbesondere im Randbereich, ab. Die Deckschicht 19 und das Piezoelements 14 bilden einen Schichtverbund 20. Mit der freien Oberfläche der Deckschicht 19 schmiegt sich Schichtverbund 20 des Ultraschallwandlers 6 bzw. 7 an die Innenfläche 2. Die Deckschicht 19 besteht bevorzugt aus Kunststoff und wird mittels Vergiessen oder Spritzgiessen aufgebracht.

In einer anderen Ausführung wird eine Kunststoff-Folie gegen das Medium dicht auf die Elektrodenseite des Piezoelements 14 aufkaschiert. Wichtig ist eine innige Verbindung der Deckschicht 19 mit dem Material des Piezoelements 14 und dem Mantel des Kabels 9, so dass das Medium nicht zu den unter der Deckschicht 19 eingeschlossenen Elektroden 15, 16, 17 vordringen kann. Für das Piezoelement 14 eignen sich neben der

bekannten Piezokeramik auch gereckte Folien aus Polyvinylfluorid (PVF) oder Polyvinylidenfluorid (PVDF) oder einem Mischpolymer mit Anteilen von PVF und/oder PVDF.

In einer vereinfachten Ausführung ist die Deckschicht 19 nur im Randbereich erforderlich. Dies gilt für den Fall, dass keine Isolation zwischen Messrohr 1 und Elektroden erforderlich ist, z.B. bei einem Messrohr aus Kunststoff. Selbstverständlich kann der Schichtverbund auch mit seiner Elektroden-seite (mit Deckschicht) dem Medium zugewandt werden.

In einer anderen Ausführung ist auf dem Piezoelement 14 ausserhalb der durch die Interdigitalstruktur 15, 16, 17 beanspruchten Fläche auch die Generator- und Empfangsschaltung 12 oder Teile davon innerhalb der Deckschicht 19 angeordnet.

Die in der FIG 4 in einer Draufsicht gezeigte Ausführung weist im Messrohr 1 den an der Innenfläche 2 angeordneten Wandlerhalter 5 (FIG 1) auf. Der Wandlerhalter 5 ist in dieser Ausführung der Schichtverbund 20 (FIG 3), wobei in der Darstellung der FIG 4 nur das Piezoelement 14 sichtbar ist. Das Piezoelement 14 ist transparent dargestellt, so dass die auf dem Piezoelement 14 platzierte Generator- und Empfangsschaltung 12 und die Interdigitalstrukturen 15, 16, 17 (FIG 2) durch das Piezoelement 14 hindurch erkennbar sind.

Die Interdigitalstrukturen sind im Abstand A (FIG 1) gemeinsam auf dem streifenförmigen Piezoelement 14 angeordnet, wobei der Abstand A zwischen den Mitten der Ultraschallwandler 6, 7 gemessen ist. In einer Ausführung sind die Elektroden 15 bzw. 16 der beiden Interdigitalstrukturen 15, 16, 17 über Leiterbahnen miteinander und mit der Generator- und Empfangsschaltung 12 verbunden. In einer anderen Ausführung sind die vier Elektroden 15, 16 getrennt der Generator- und Empfangsschaltung 12 zugeführt. Die eine Ausführung ist in der Zeichnung der FIG 4 am Beispiel der Elektrode 15 und die andere am Beispiel der Elektrode 16 dargestellt.

In der Ausführung, bei der die Elektroden 15 und 16 der einen Interdigitalstruktur mit den entsprechenden Elektroden 15, 16 der anderen Interdigitalstruktur direkt durch Leiterbahnen auf dem Piezoelement 14 miteinander verbunden sind, werden die Ultraschallwellen gleichzeitig in beiden Ultraschallwandlern 6, 7 unter dem Abstrahlwinkel von  $\pm 45^\circ$  erzeugt.

Die mit der Strömung sich auf dem V-förmigen Schallweg 10 (FIG 1) fortpflanzenden Ultraschallwellen treffen nach der Reflexion am Spiegel 4 (FIG 1) am zweiten Ultraschallwandler 7 etwas früher ein als die stromaufwärts eilenden Ultraschallwellen am ersten Ultraschallwandler 6. Das resultierende Empfangssignal in jeder der Elektroden 15, 16 ist eine Überlagerung der beiden in den Ultraschallwandlern 6, 7 erzeugten Signale, wobei die durch den Mitführungseffekt bewirkte Zeitverzögerung eine Phasenverschiebung der in den Ultraschallwandlern 6, 7 eintreffenden Ultraschallwellen bewirkt.

Die Generator- und Empfangsschaltung 12 erzeugt die benötigten Wechselspannungen, errechnet aus der Phasenverschiebung der Empfangssignale an den Elektroden 15 und 16 die Strömungsgeschwindigkeit bzw. die Durchflussmenge und gibt über das Kabel 9 (FIG 3) eine Impulsfolge nach Aussen an das Zählwerk 13 (FIG 1) ausserhalb des Messrohrs 1 ab, wobei jeder Impuls einer vorbestimmten Durchflussmenge entspricht.

Die andere Ausführung mit getrennt an die Generator- und Empfangsschaltung 12 angeschlossenen Ultraschallwandlern 6, 7 bestimmt die Schaltung 12, ob die Ultraschallwellen gleichzeitig oder nacheinander von den beiden Ultraschallwandler 6, 7 ausgesandt werden. Ebenso erfolgt die Auswertung der Empfangssignale jedes Ultraschallwandlers 6, 7 unabhängig voneinander.

Die Ausführungen nach der FIG 4 weisen den Vorteil auf, dass ausserhalb des Messrohrs 1 nur die Spannungsversorgung der Generator- und Empfangsschaltung 12 und das Zählwerk 13 (FIG 1) vorhanden ist und die Elektronik der Generator- und Empfangsschaltung 12 im Messrohr 1 eingeschlossen ist.

In einer weiteren Ausführung sind die Elektroden 15, 16 über ein zwei- bzw. vieradriges Kabel 9 mit der ausserhalb des Messrohrs 1 angeordneten Generator- und Empfangsschaltung 12 verbunden.

Die FIG 5 zeigt eine mögliche Ausführung des Messrohrs 1 (FIG 1) im Querschnitt. Das Messrohr 1 besteht aus einem Deckel 21 und einer Wanne 22 von rechteckigem Querschnitt. Die rechteckige Querschnittsfläche des Messrohrs 1 geht am Ende in den runden Fläche des lichten Querschnitts 23 einer hier nicht gezeigten Rohrleitung über, um einen Einbau des Ultraschallmessers in die Rohrleitung zu ermöglichen. Der Schichtverbund 20 (FIG 3), der das Piezoelement 14 und die Deckschicht 19 umfasst, ist auf der Innenfläche 2 (FIG 1) des Deckels 21 angeordnet.

Das in der Zeichnung der FIG 5 dargestellte Beispiel umfasst die beispielsweise in Spritzgusstechnik hergestellte Deckschicht 19 mit einem das Kabel 9 umhüllenden Zapfen 8' als Teil der Durchführung 8. Der Zapfen 8' durchdringt den Deckel in einer Bohrung und axial die in die Bohrung geschraubte Durchführung 8. Eine Dichtung (z.B. O-Ring) 8" unter der Durchführung 8 ist gegen den Zapfen 8' und gegen die Wand der Bohrung im Deckel 21 gepresst, damit das Messrohr 1 gegen einen Verlust des Mediums abgedichtet ist. Gleichzeitig ist der Schichtverbund 20 im Messrohr 1 gehalten.

In anderen Ausführungen ist der Schichtverbund 20 auf der Innenfläche 2 beispielsweise zusätzlich mittels Schrauben oder einer Klebmasse befestigt. Dichtmittel, insbesondere eine Gummidichtung, dichten die Fügstelle zwischen Deckel 21 und

Wanne 22 ab, wie dies auf der rechten Seite in der Zeichnung der FIG 5 dargestellt ist. Auf der linken Seite in der Zeichnung der FIG 5 ist eine andere Lösung der Abdichtung vorgestellt.

Der Schichtverbund 20 wird mittels des Deckels 21 mit der Seite des Piezoelements 14 direkt auf die Gummidichtung gepresst. Die Durchführung 8, der Zapfen 8' und die dichte Einführung des Kabels 9 erübrigen sich; dies stellt eine vorteilhafte Vereinfachung dar. Der Schallweg 11 (FIG 1) ist V-förmig und der Spiegel 4 auf der Innenfläche 2' des Wannenbodens angeordnet, wie dies im Längsschnitt der FIG 1 dargestellt ist.

In der FIG 6 weist das Messrohr 1 eine gekrümmte, insbesondere eine runde Innenfläche 2 auf. Dank Biegsamkeit solcher Piezoelemente 14 aus PVF- bzw. PVDF-Folie ist der Schichtverbund 20 ohne Schwierigkeit an die Krümmung der Innenwand 2 anzupassen. Keinerlei Einbussen in Bezug auf die Schallabstrahlung sind festzustellen.

Bekanntlich weist das strömende Medium über den Querschnitt des Messrohrs 1 ein Strömungsprofil auf. An der Innenwand 2 ist die Strömungsgeschwindigkeit praktisch null und erreicht im Idealfall auf der Messrohrachse 3 (FIG 1) ein Maximum. Für die Genauigkeit der Messung ist es wichtig, die Strömungsgeschwindigkeiten im Strömungsprofil richtig zu erfassen, da das Strömungsprofil von der Strömungsgeschwindigkeit abhängig ist.

Die eingangs erwähnte DE 43 36 370 befasst sich mit diesem Problem und löst die Aufgabe mittels den dort vorgeschlagenen, mehrfach reflektierten Schallwegen 11 (FIG 1) mit Hilfe von schräggestellten Spiegel für das Umlenken der Ultraschallwellen.

Die Anordnung gemäss der FIG 7 mit einer im Azimut gedrehter der Interdigitalstruktur 15, 16, 17 ermöglicht eine wesentliche Verbilligung des Durchflussmessers mit dem mehrfach gespiegelten Schallweg 11 (FIG 1). Eine Komponente des Schallwegs 11 in der Ebene des Piezoelements 14 ist parallel zu den die Finger 17 verbindenden Teile der Elektroden 15, 16 und zeigt eine ausgezeichnete Richtung 24 des Ultraschallwandlers 6 an. Gegenüber der Projektion der Messrohrachse 3 auf die Ebene des Piezoelements 14 ist die ausgezeichnete Richtung 24 um einen Azimutwinkel  $\beta$  gedreht.

Die Ultraschallwellen des einen Ultraschallwandlers 6 bzw. 7 (FIG 1) werden zunächst an der einen Seitenwand 25 (FIG 5) der Wanne 22 (FIG 5) gespiegelt und werden von dort auf den Spiegel 4 (FIG 5) der Innenfläche 2' (FIG 5) geworfen und dort reflektiert. Vom Spiegel 4 erstreckt sich der Schallweg 11 nach einer weiteren Reflexion an der anderen Seitenwand 26 (FIG 5) der Wanne 22 zum anderen Ultraschallwandler 7 bzw. 6. Die ausgezeichnete Richtung des in der Zeichnung der FIG 7 nicht gezeigten zweiten Ultraschallwandlers 7 ist parallel zur ausgezeichneten Richtung 24 des ersten Ultraschallwandlers 6 ausgerichtet und auf dem andern Ende des streifenförmigen Piezoelements 14 angeordnet.

Bei grösseren Querschnitten des Messrohrs 1 werden mit Vorteil zwei parallele, spiralgig geformte Schallwege 11 für eine gute Durchstrahlung des Messrohrs 1 verwendet. Die FIG 8 zeigt eine mögliche Anordnung der Elektroden 15, 16, 17 (FIG 7) eines ersten Paares gebildet aus den Ultraschallwandlern 6, 6' auf dem Piezoelement 14. Die ausgezeichneten Richtungen 24 und 27 der Ultraschallwandler 6, 6' schliessen einen Winkel von  $2\beta$  ein, wobei  $\beta$  der Azimutwinkel und die Projektion der Messrohrachse 3 eine Winkelhalbierende des Winkels  $2\beta$  ist.

Das in der Zeichnung der FIG 8 nicht gezeigte zweite Paar der Ultraschallwandler 7 (FIG 4) ist auf dem anderen Ende des Piezoelements 14 angeordnet und weist dieselbe Struktur und



Anordnung der Elektroden 15, 16, 17 auf wie das erste Paar 6,6', jedoch ist das zweite Paar gegenüber dem ersten Paar 6,6' um  $180^\circ$  in der Ebene des Piezoelements 14 gedreht.

Der Vollständigkeit halber ist zu erwähnen, dass die Interdigitalstrukturen bevorzugt aus aufgedampftem oder aufkaschiertem Elektrodenmaterial bestehen, wobei die entgültige Form durch Ätzen gewonnen wird. Das Elektrodenmaterial kann auch durch Masken hindurch aufgedampft werden.

Ein weiterer Vorteil dieser Durchflussmesser ist das Fehlen von Elektroden, die mit dem Medium reagieren oder durch Schwebestoffe im Medium erodiert werden.

## Patentansprüche

1. Durchflussmesser zum Messen der Durchflussmenge eines flüssigen oder gasförmigen Mediums, mit einem Messrohr (1) und wenigstens zwei mit einer Generator- und Empfangsschaltung (12) verbundenen Ultraschallwandlern (6; 6'; 7), welche kammartig ineinandergreifende, elektrisch getrennte Elektroden (15; 16) auf der einen Seite eines flächigen Piezoelements (14) unter Bildung einer Interdigitalstruktur umfassen, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Piezoelemente (14) aus einem flexiblen Werkstoff gefertigt und die Ultraschallwandler (6,6',7) innerhalb des Messrohres (1) angeordnet sind.

2. Durchflussmesser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der Werkstoff für das Piezoelement (14) Polyvinylfluorid (PVF), Polyvinylidenfluorid (PVDF) oder ein Mischpolymer mit wenigstens einem Anteil von PVF oder PVDF ist.

3. Durchflussmesser nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der Werkstoff als Folie ausgebildet ist.

4. Durchflussmesser nach einem der Ansprüche 1 bis 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Ultraschallwandler (6,6',7) ein gemeinsames Piezoelement (14) umfassen.

5. Durchflussmesser nach Anspruch 4, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass auf einer ausserhalb der Interdigitalstrukturen liegenden Fläche des Piezoelements die Generator- und Empfangsschaltung oder Teile davon angeordnet sind.

6. Durchflussmesser nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der Werkstoff als Schutz für die Interdigitalstruktur vor dem Medium dient, wobei die eine Seite der Piezoelemente (14) der Innenfläche (2,2') des Messrohrs (1) zugewandt ist.

7. Durchflussmesser nach einem der Ansprüche 1 bis 6, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Interdigitalstruktur (15,16,17) von einer schützenden Deckschicht (19) bedeckt ist, wobei das Piezoelement (14) mit der Interdigitalstruktur (15,16,17) und der Deckschicht (19) einen Schichtverbund bildet.

8. Durchflussmesser nach Anspruch 7, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der Schichtverbund (20) auf einem Wandlerträger (5) angeordnet ist.

9. Durchflussmesser nach einem der Ansprüche 1 bis 8, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass das Messrohr (1) auf wenigstens einer Innenfläche (2') eine Spiegelfläche (4) für die Umlenkung der Ultraschallwellen aufweist.

10. Durchflussmesser nach einem der Ansprüche 1 bis 9, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Ultraschallwandler (6;6';7) quer zu Fingern (17) ihrer Interdigitalstruktur (15,16,17) ausgerichtete ausgezeichnete Richtungen (24;27) umfassen, welche parallel zur Messrohrachse (3) des Messrohrs (1) verlaufen.

11. Durchflussmesser nach einem der Ansprüche 1 bis 9, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Ultraschallwandlers (6;6';7) quer zu Fingern (17) ihrer Interdigitalstruktur (15,16, 1) ausgerichtete ausgezeichnete Richtungen (24;27) umfassen, welche zueinander parallel und schief zur Messrohrachse (3) des Messrohrs (1) verlaufen.

12. Durchflussmesser nach einem der Ansprüche 1 bis 9,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass zwei nebeneinander angeordnete Ultraschallwandler (6; 6') ein Paar bilden und quer zu Fingern (17) ihrer Interdigitalstrukturen (15,16,17) ausgerichtete ausgezeichnete Richtungen (24;27) aufweisen, die einen Winkel  $2\beta$  einschliessen und dass die Winkelhalbierende des Winkels  $2\beta$  parallel zur Messrohrachse (3) des Messrohrs (1) verläuft.

13. Durchflussmesser nach einem der Ansprüche 1 bis 12, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass das Messrohr (1) eine Bohrung (9a) aufweist, durch die ein Kabel (9) oder Anschlussleitungen der Ultraschallwandler (6,7) und/oder der Generator-Empfangsschaltung (12) geführt ist/sind.

14. Durchflussmesser nach einem der Ansprüche 1 bis 13 in Verbindung mit Anspruch 7, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der Schichtverbund 20 zwischen Wanne und Deckel eines Messrohrs (1), insbesondere von rechteckigem Querschnitt, gehalten ist, wobei die freie Seite des Piezoelements (14) gegen eine auf dem Rand der Wanne 22 umlaufende Gummidichtung gepresst wird.

15. Ultraschallwandler mit einem Piezoelement (14), auf welchem eine Interdigitalstruktur bildende Elektroden (15,16) angeordnet sind,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass das Piezoelement (14) flexibel, insbesondere als Folie, ausgeführt ist, wobei als Werkstoff Polyvinylfluorid (PVF), Polyvinylidenfluorid (PVDF) oder ein Mischpolymer mit wenigstens einem Anteil aus diesen Werkstoffen dient.

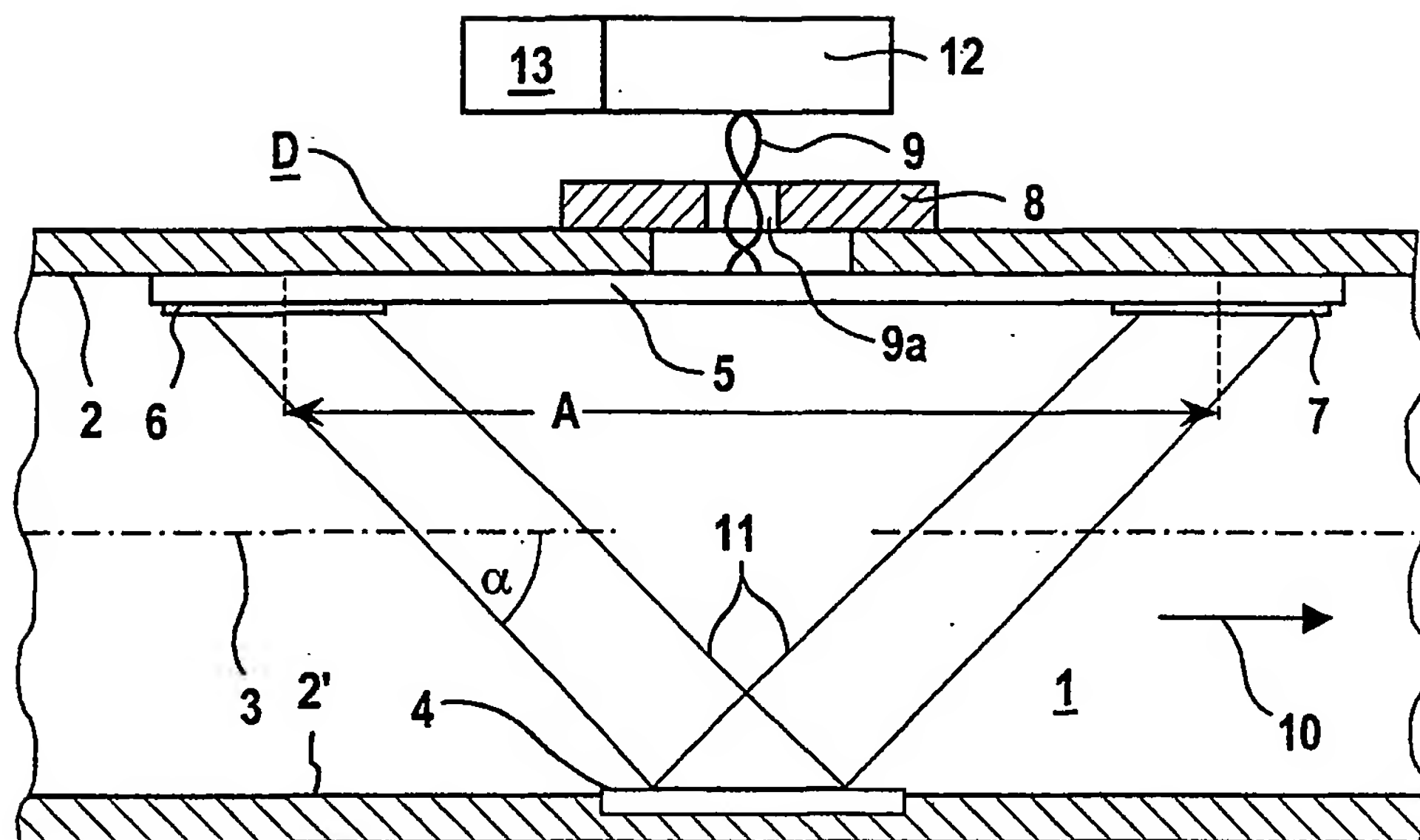
16. Ultraschallwandler mit einem Piezoelement (14), auf welchem eine Interdigitalstruktur bildende Elektroden (15,16) angeordnet sind,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass ein Wandlerträger vorgesehen ist, auf welchem das Piezoelement (14)

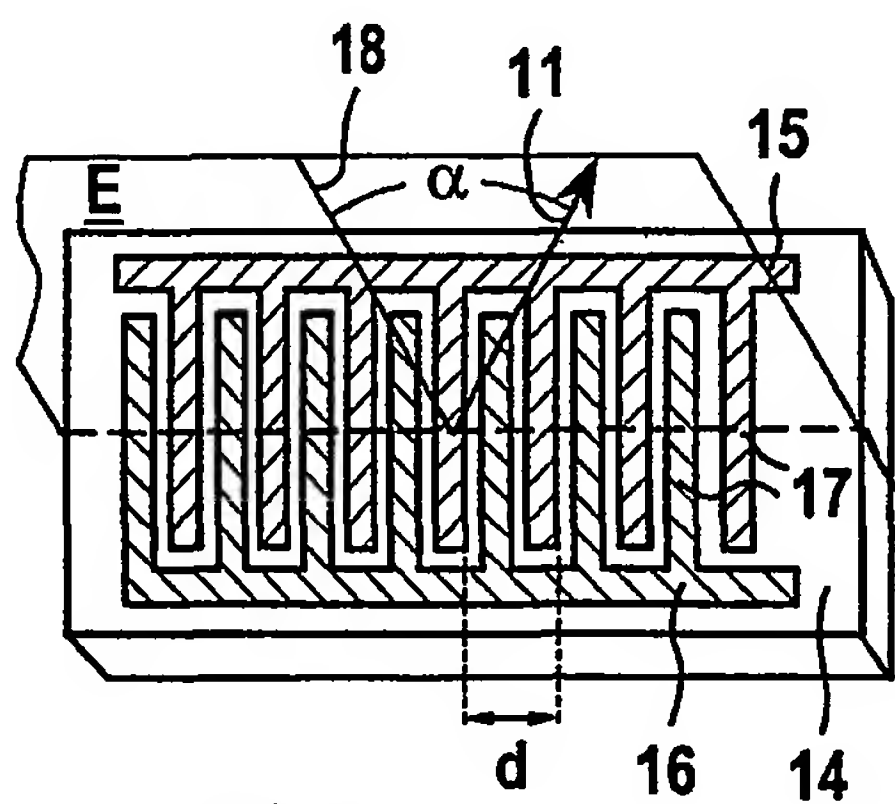
und die Elektroden (15,16) angeordnet sind, wobei der Wandlerträger (5) eine flexible Folie ist.

17. Durchflussmesser nach Anspruch 16,  
dadurch gekennzeichnet, dass der Wandlerträger (5) aus Polyvinylfluorid (PVF), Polyvinylidenfluorid (PVDF) oder ein Mischpolymer mit wenigstens einem Anteil von PVF oder PVDF ist.

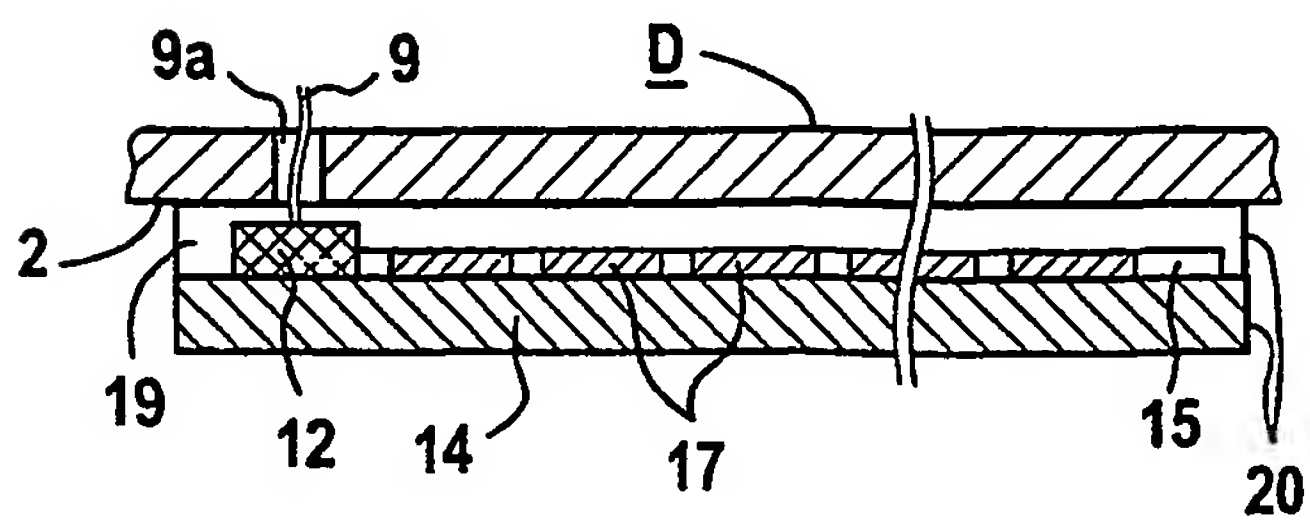
1/3



**FIG 1**



**FIG 2**



**FIG 3**



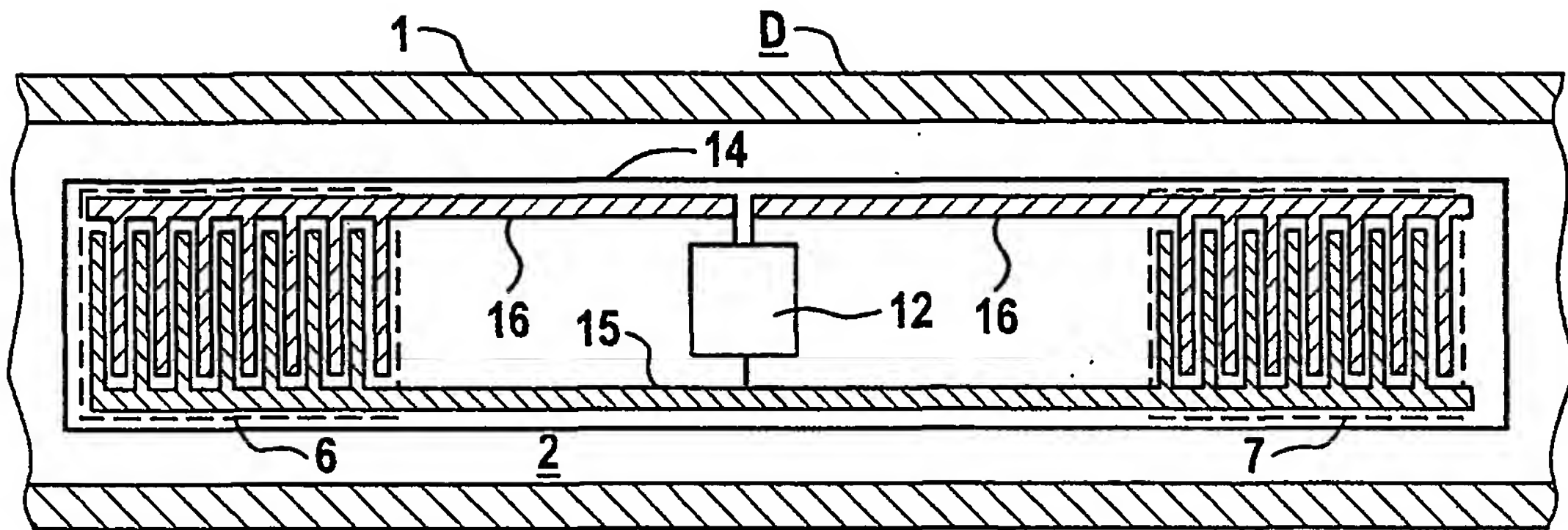


FIG 4

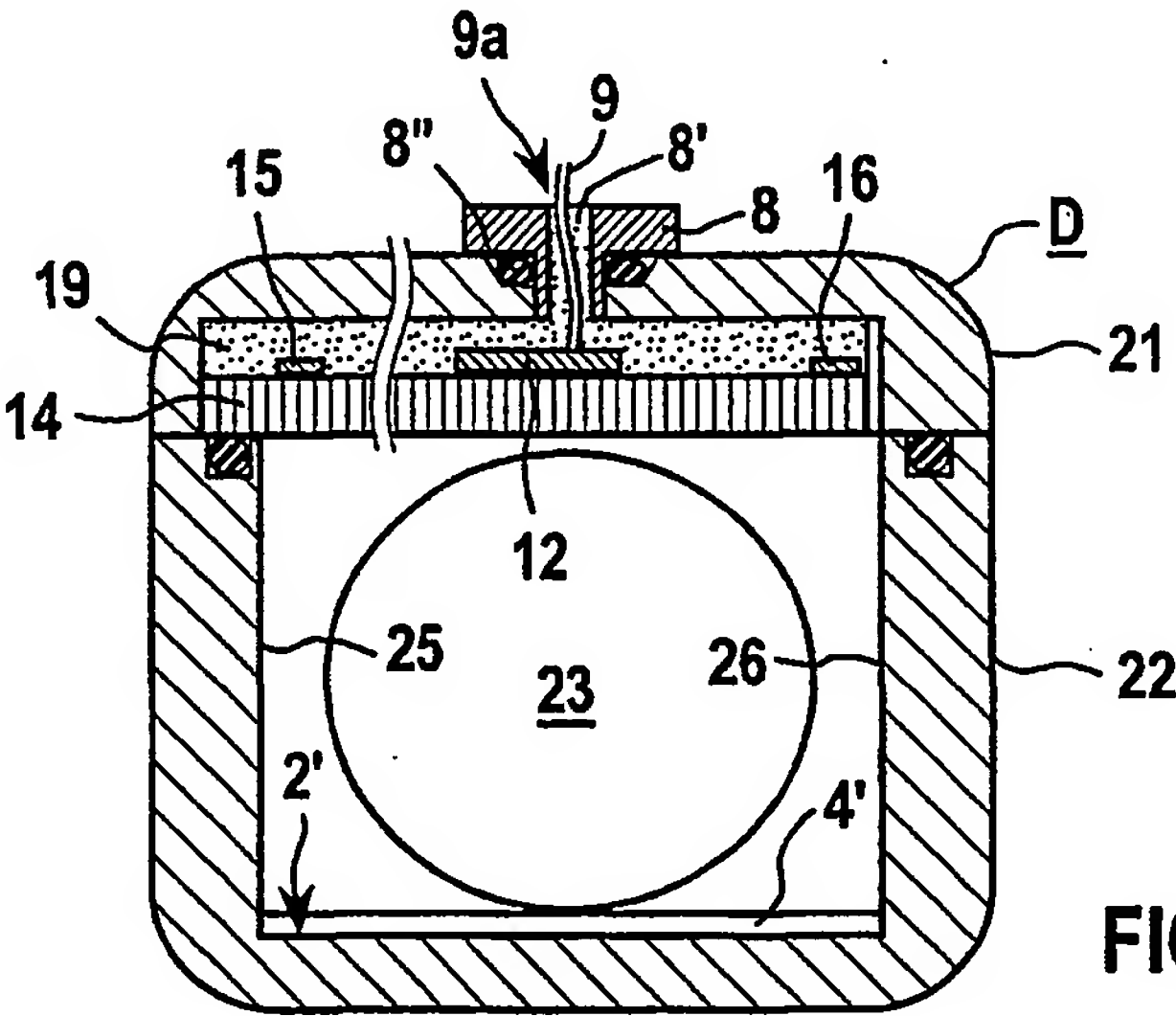


FIG 5

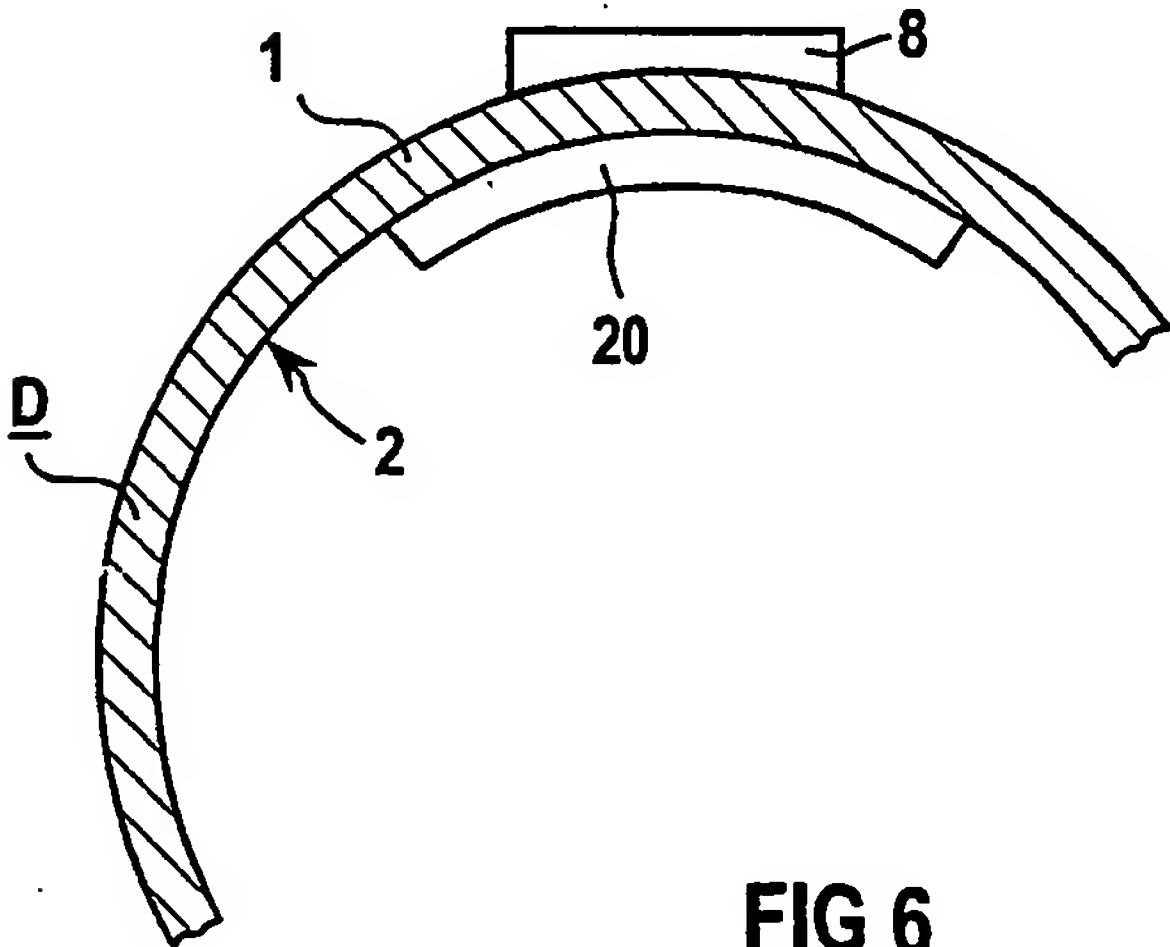


FIG 6

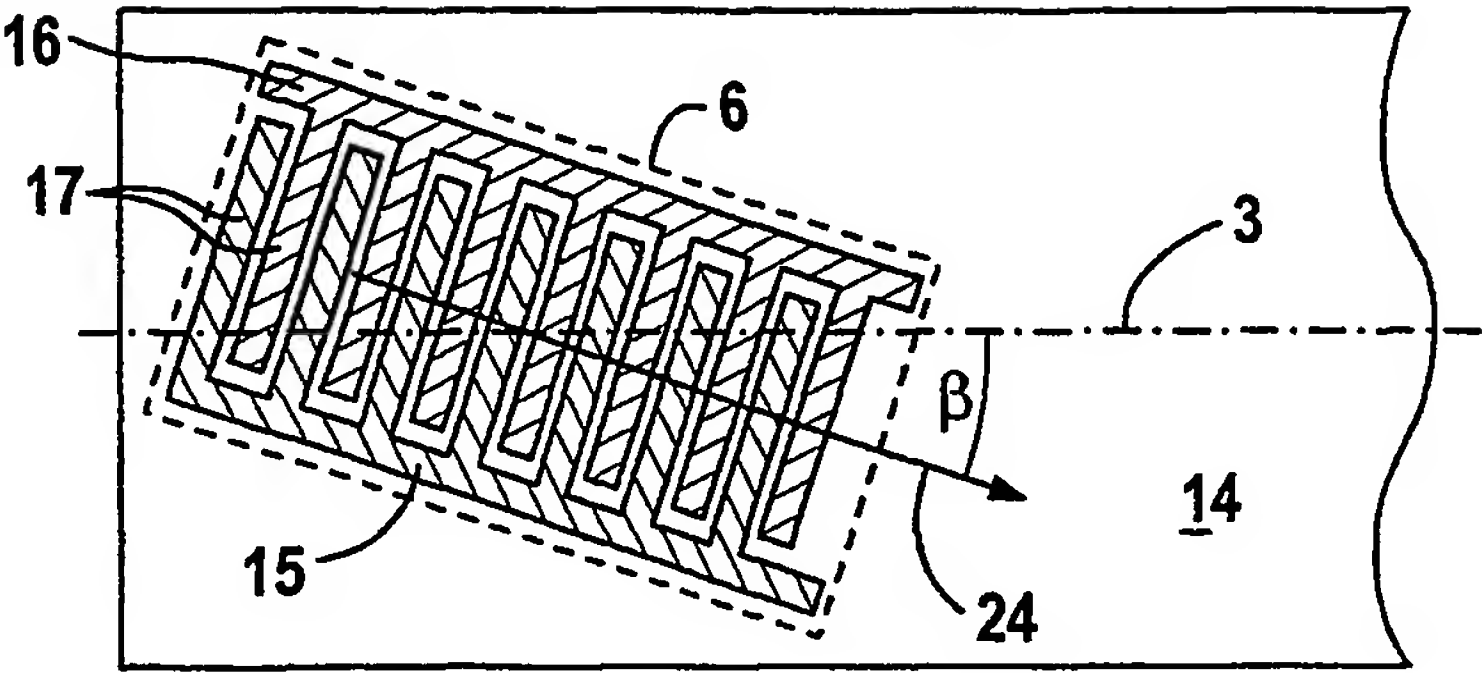


FIG 7

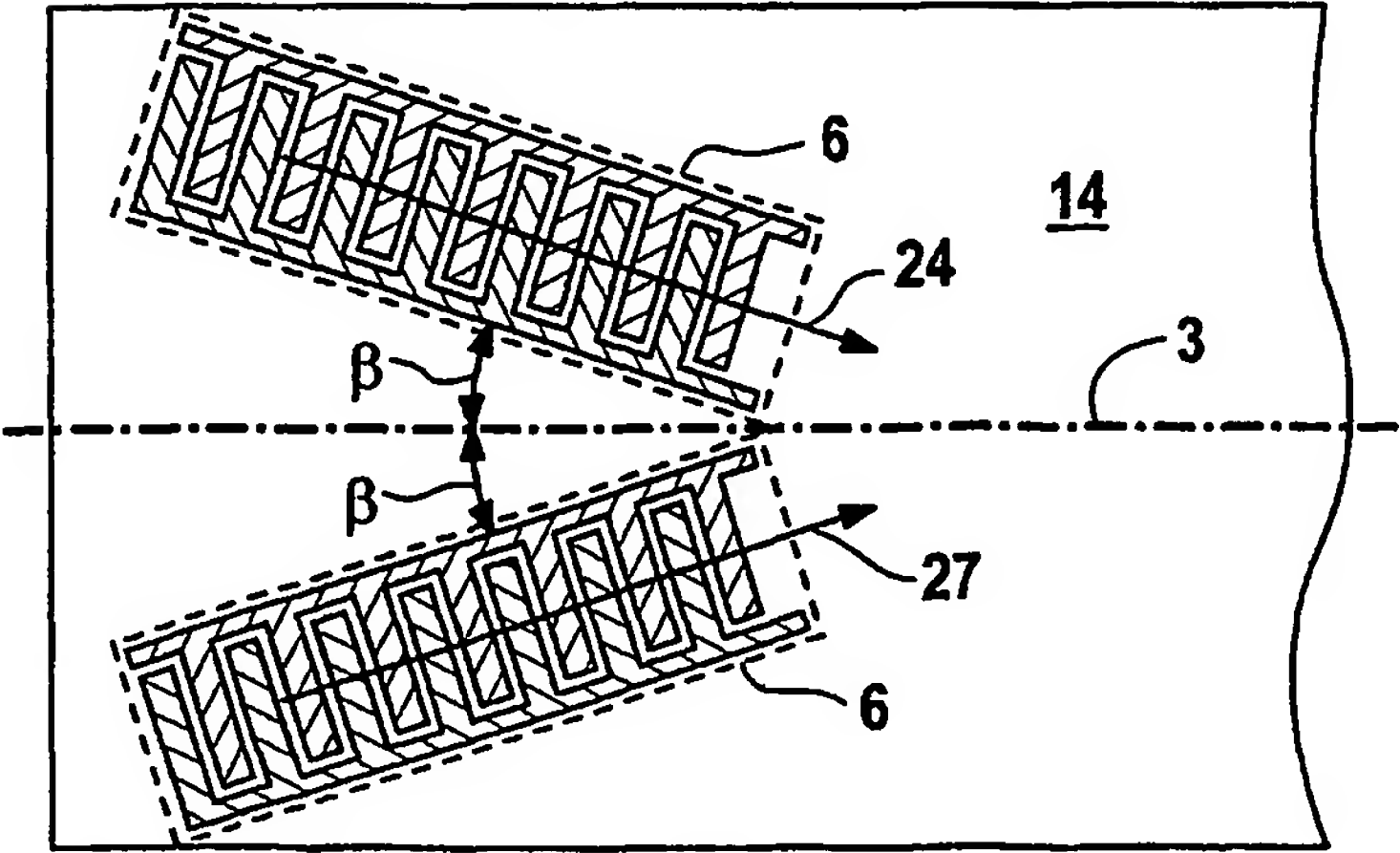


FIG 8